

ĐIỀU KHIỂN GÀI SỐ TRÊN HỆ THỐNG TRUYỀN LỰC AMT

GEAR SHIFT CONTROL FOR AUTOMATED MANUAL TRANSMISSIONS

Tạ Thị Thanh Huyền*, Trần Văn Như

TÓM TẮT

Hệ thống truyền lực tự động AMT (Automated Manual Transmission) và DCT (Dual Clutch Transmission) sử dụng bộ đồng tốc thông thường để gài số. Tuy nhiên khác với hộp số cơ khí có cấp, trên hộp số này việc gài số được thực hiện thông qua bộ điều khiển. Bộ phận chấp hành có thể là xy lanh thủy lực hoặc động cơ điện, trong đó bộ phận chấp hành loại động cơ điện được sử dụng khá phổ biến. Trên cơ sở mô hình động lực học bộ đồng tốc, nhóm tác giả xây dựng bộ điều khiển PD thực hiện điều khiển gài số. Kết quả mô phỏng với bộ điều khiển thiết kế được so sánh với mô hình điều khiển vòng mạch hở.

Từ khóa: Mô hình bộ đồng tốc; điều khiển gài số; AMT; DCT.

ABSTRACT

The automated manual transmission and the dual-clutch one use conventional synchronizers to shift gears. However, unlike a manual transmission on these transmissions gear shifting is done through a controller. The actuator can be a hydraulic cylinder or an electric motor, of which the electric motor type actuator is commonly used. Base on the synchronizer dynamics model, the authors design a PD controller to perform gear shifting control. The simulation results with the designed controller are compared with the open-loop control.

Keywords: Synchronizer model; gear shifting control; AMT; DCT.

Trường Đại học Giao thông Vận tải

*Email: thanhhuyen@utc.edu.vn

Ngày nhận bài: 02/6/2021

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 25/6/2021

Ngày chấp nhận đăng: 25/8/2021

1. TỔNG QUAN

Hệ thống truyền lực tự động hộp số bánh răng có nhiều ưu điểm so với hệ thống truyền lực tự động hộp số hành tinh và hệ thống truyền lực cơ khí có cấp về tính điều khiển và hiệu suất truyền lực. Có hai loại hệ thống truyền lực tự động hộp số bánh răng được áp dụng trên ô tô, gồm loại DCT (Dual Clutch Transmission) và loại AMT (Automated Manual Transmission). Hệ thống truyền lực DCT được sử dụng khá phổ biến trên ô tô con. Hệ thống truyền lực AMT có triển vọng áp dụng trên ô tô có khách và ô tô tải do khả năng truyền mô men lớn mà hộp số DCT bị hạn chế. Cả hai loại hệ thống truyền lực trên, điều khiển gài số được thực hiện bởi bộ điều khiển tác động lên bộ đồng tốc truyền thống để thực hiện gài số. Bộ phận chấp hành có thể là xy lanh thủy lực hoặc động cơ điện, trong đó bộ phận chấp hành loại động cơ điện được sử dụng khá phổ biến. Bộ

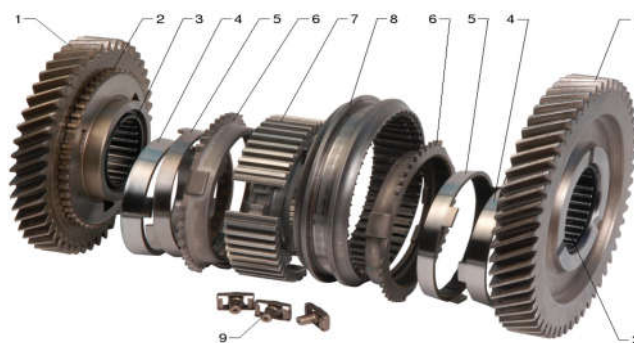
đồng tốc có vai trò thực hiện gài bánh răng quay lỏng không với trục của nó đảm bảo không gây va đập do sự chênh lệch về tốc độ. Bộ đồng tốc có cấu tạo khá phức tạp gồm nhiều chi tiết. Quá trình hoạt động của bộ đồng tốc trải qua nhiều pha với các mô hình động lực học khác nhau. Trong [1] mô tả và xây dựng mô hình toán chi tiết quá trình gài số của bộ đồng tốc với 8 pha khác nhau. Mô hình động lực học bộ đồng tốc khá phức tạp, có tính phi tuyến cao do đó thường sử dụng các bộ điều khiển đơn giản và dễ ràng thiết kế như bộ điều khiển PI [2]. Hoặc đơn giản hóa mô hình bộ đồng tốc bằng mô hình ly hợp côn và sử dụng bộ điều phương pháp điều khiển bền vững H_{∞} để loại bỏ sự không chính xác của mô hình và hệ số ma sát [3]. Biến đầu ra của bộ điều khiển là lực dọc trục tác dụng lên bộ đồng tốc (lực gài). Mục tiêu của bộ điều khiển để vận tốc giữa phần chủ động và bị động của bộ đồng tốc bằng nhau [3] hoặc điều khiển vị trí mô tơ gài số để đảm bảo thực hiện gài [2]. Trong bài báo này, các tác giả trình bày việc xây dựng thuật toán điều khiển gài số cơ sở phương pháp điều khiển PD. Mô hình bộ đồng tốc với 8 pha được mô phỏng để đánh giá bộ điều khiển.

2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC CƠ CẤU GÀI SỐ AMT

Mô hình động lực học cơ cấu gài số gồm hai mô hình con: mô hình động lực học bộ đồng tốc và mô hình động cơ - hệ dẫn động.

2.1. Mô hình động lực học bộ đồng tốc

Theo [1], các tác giả đã xây dựng được mô hình bộ đồng tốc hệ thống truyền lực AMT, với kết cấu bộ đồng tốc được thể hiện như hình 1.



Hình 1. Bộ đồng tốc

1) Bánh răng gài; 2) Vành răng bánh răng; 3) Ổ bi kim; 4,5) Vòng bạc; 6) Vành đồng tốc; 7) Moayơ đồng tốc; 8) Ống gài; 9) Bộ phận khóa hãm

Quá trình gài số có thể chia thành 8 pha:

- Pha 1: Ống gài di chuyển dọc trục từ vị trí trung gian về phía bánh răng gài, đẩy vành ma sát của ống gài tiếp xúc với vành ma sát của bánh răng.

- Pha 2: Lực từ đầu bộ phận khóa tăng lên tạo ra mô men ma sát làm ra quay vòng đồng tốc trong giới hạn của hốc trên ống gài (8). Mặt vật tiếp xúc của vành đồng tốc (7) tiếp xúc với vành bánh răng tạo ra mô men ma sát lớn làm bánh răng bắt đầu đồng tốc với vành đồng tốc và ống gài.

- Pha 3: Pha đồng tốc, pha này kết thúc khi bánh răng, vành đồng tốc và ống gài có cùng vận tốc góc.

- Pha 4: Lực gài tiếp tục tăng, răng trên ống gài trượt trên đầu răng của vành đồng tốc tìm đến khe giữa 2 răng của vành đồng tốc làm vành đồng tốc dịch chuyển 1 góc.

- Pha 5: Ống gài tiếp tục dịch chuyển dọc trục cho đến khi răng vát của ống gài tiếp xúc với răng vát của vành răng bánh răng.

- Pha 6: Lực gài tiếp tục tăng để đảm bảo duy trì dịch chuyển dọc trục của ống gài. Quá trình này dừng lại khi thành phần lực tiếp tuyến trên cạnh vát đủ lớn để quay vòng đồng tốc bị kẹt trong phần hình nón của vành bánh răng.

- Pha 7: Lực dọc trục tăng đến lực cần thiết để đầu răng trên ống gài trượt trên đầu răng của vành bánh răng tìm đến khe giữa 2 răng trên vành bánh răng. Bánh răng sẽ quay đi một góc.

- Pha 8: Răng trên ống gài tiếp tục đi sâu vào khe giữa 2 răng trên vành răng bánh răng đến hết hành trình. Kết thúc quá trình gài số.

Mô hình có 8 bậc tự do bao gồm: vận tốc góc của bánh răng ω_g , vành đồng tốc ω_{sr} , ống gài ω_{sl} và vận tốc góc của khóa gài ω_{sd} ; dịch chuyển dọc trục của ống gài x_{sl} của vành đồng tốc x_{sr} và của khóa gài x_{sd} ; dịch chuyển theo phương hướng kính của khóa gài y_{sd} . Mô hình toán ở các pha như sau:

a) Pha 1: Pha này kết thúc khi bộ phận khóa hãm dịch chuyển hết khoảng cách cần thiết để tiếp xúc với vòng đồng tốc. Các biến trạng thái của hệ: $\omega_g, \omega_{sr} = \omega_{sl} = \omega_{sd}$, $x_{sl}, x_{sd}, \dot{x}_{sr} = 0$ và y_{sd} . Các phương trình mô tả như sau:

$$\dot{\omega}_g = T_1/J_1 \tag{1}$$

$$\ddot{x}_{sl} = (F_f - N_{sl}(\sin\varphi + \mu_{sl}\cos\varphi))/m_{sl} \tag{2}$$

$$\dot{\omega}_{sl} = T_3/(J_{sr} + J_{sl} + J_{sd} + J_5) \tag{3}$$

$$\ddot{x}_{sd} = N_{sl}(\sin\varphi + \mu_{sl}\cos\varphi)/(n_p m_{sd}) \tag{4}$$

$$\ddot{y}_{sd} = F_s(\mu_{sl}\sin\varphi - \cos\varphi)/m_{sd} \tag{5}$$

Trong đó: F_f - lực dọc trục tác dụng lên ống gài; N_{sl} - lực pháp tuyến tác dụng lên mặt nghiêng rãnh khóa; T_1 - mô men ma sát trên mặt cong vành răng bánh răng; J_1 - mô men quán tính khối của bánh răng; m_{sl} - khối lượng của ống gài; φ_{sl} - góc nghiêng của mặt nghiêng rãnh khóa; μ_{sl} - hệ số ma sát; T_3 - mô men ma sát ống gài; $J_{sr}, J_{sl}, J_{sd}, J_5$ tương ứng là mô men quán tính khối của vành đồng tốc, của ống gài,

của khóa và của trục; n_p - số lượng khóa gài; m_{sd} - khối lượng khóa gài; F_s - lực lò xo của khóa gài. Trong giai đoạn đầu của pha này, khi lò xo khóa chưa bị nén, khi đó $x_{sl} = x_{sd}$, do đó:

$$\ddot{x}_{sl} = F_f/(m_{sl} + n_p m_{sd}) \tag{6}$$

Pha 2: Các biến trạng thái của hệ gồm: $\omega_g, x_{sr} = x_{sd} = x_{sl}$, $\omega_{sr}, \omega_{sd} = \omega_{sl}$ và y_{sd} . Các phương trình mô tả như sau:

$$\dot{\omega}_g = \frac{T_c + T_1}{J_1} = \frac{(1 + (1-n)a/b_i)4\pi\mu_{sr}R_c^3\omega_{sr}(1 - \omega_g/\omega_{sr})b/h + T_1}{J_1} \tag{7}$$

$$\ddot{x}_{sr} = \frac{F_f - N_{c,ax}(1 + \mu_c \cos\alpha_c/\sin\alpha_c)}{(m_{sr} + m_{sl} + n_p m_{sd})} \tag{8}$$

$$\dot{\omega}_{sr} = (|T_c| + N_h R_h - N_{sd} \mu_{sd} R_{sd} + T_2)/J_{sr} \tag{9}$$

$$\ddot{x}_{sl} = (F_f - N_{sl}(\sin\varphi + \mu_{sl}\cos\varphi))/m_{sl} \tag{10}$$

$$\ddot{y}_{sd} = (F_{spring} + N_{sl}(\mu_{sl}\sin\varphi - \cos\varphi)/n_p)/m_{sd} \tag{11}$$

Trong đó: h_1 - khoảng cách ban đầu giữa các bề mặt nón; h_{min} - khoảng cách tối thiểu giữa các bề mặt còn khi có tính đến độ nhám bề mặt; K_{CC}, K_{NC} - các hệ số hình dạng của vòng đồng tốc; R_h - bán kính tiếp xúc giữa moayơ σ và vòng đồng tốc; R_{sd} - bán kính tiếp xúc giữa vòng đồng tốc và bộ phận khóa; n - số lượng bộ phận khóa. Khi lò xo bị nén, có sự chuyển động tương đối giữa bộ phận khóa và ống gài. Do đó phương trình chuyển động vòng đồng tốc và khóa gài là:

$$\ddot{x}_{sr} = \frac{(N_{sl}(\sin\varphi + \mu_{sl}\cos\varphi) - N_{c,ax}(1 + \mu_c \cos\alpha_c/\sin\alpha_c))}{(m_{sr} + n_p m_{sd})} \tag{12}$$

$$\dot{\omega}_{sl} = (N_{sd} \mu_{sd} R_{sd} - N_h R_h + T_3)/(J_{sl} + J_{sd} + J_5) \tag{13}$$

Nếu giữa vòng đồng tốc và khe khóa gài quay cùng tốc độ, các phương trình $\dot{\omega}_{sl}$ và $\dot{\omega}_{sr}$ được thay thế bằng phương trình sau:

$$\dot{\omega}_{sr} = (|T_c| + T_2)/(J_{sr} + J_{sl} + J_{sd} + J_5) \tag{14}$$

Pha 3: Trong pha này răng vát của vòng đồng tốc và ống gài tiếp xúc và không thay đổi vị trí cho đến khi đạt được sự đồng tốc. Do đó không có sự dịch chuyển dọc trục của ống gài; vành đồng tốc và khóa gài. Các biến trạng thái của pha này: $\omega_g, \omega_{sr}, \omega_{sl}, \dot{x}_{sr} = \dot{x}_{sd} = \dot{x}_{sl} = \dot{y}_{sd} = 0$. Các phương trình mô tả như sau:

$$\dot{\omega}_g = (-\mu_c F_f R_c / \sin\alpha_c (1 + b^2 \sin^2 \alpha_c / (3R_c^2)) + T_1)/J_1 \tag{15}$$

$$J_{sr} \dot{\omega}_{sr} = \frac{(\mu_c F_f R_c (1 + b^2 \sin^2 \alpha_c / (3R_c^2)))}{\sin\alpha_c} - N_h R_h - \frac{(R_{sl}(1 - \mu_s \tan\beta)(F_f - N_{sl}(\sin\varphi + \mu_{sl}\cos\varphi)))}{(\tan\beta + \mu_s)} + T_2 \tag{16}$$

$$\dot{\omega}_{sl} = \frac{\left(\frac{R_{sl}(1-\mu_s \tan\beta)(F_f - N_{sl}(\sin\phi + \mu_{sl}\cos\phi))}{(\tan\beta + \mu_s)} + N_h R_h + T_3 \right)}{(J_{sl} + J_{sd} + J_5)} \quad (17)$$

$$\dot{\omega}_{sr} = \frac{\frac{\mu_c F_r R_c (1 + b^2 \sin^2 \alpha_c / (3R_c^2))}{\sin \alpha_c} + T_2}{(J_{sr} + J_{sl} + J_{sd} + J_5)} \quad (18)$$

Pha 4: Các biến trạng thái: $\omega_g = \omega_{sr}, x_{sl}, \dot{x}_{sd} = 0$, $\omega_{sl} = \omega_{sd}, y_{sd}$, các phương trình mô tả như sau:

$$(J_1 + J_{sr})\dot{\omega}_g = \frac{F_f R_{sl}(1-\mu_s \tan\beta)}{(\tan\beta + \mu_s)} - \frac{N_{sl} R_{sl}(\sin\phi + \mu_{sl}\cos\phi)(1-\mu_s \tan\beta)}{(\tan\beta + \mu_s)} - R_{sd} N_{sd} \mu_{sd} + T_1 \quad (19)$$

$$\ddot{x}_{sl} = \frac{(F_f - N_{sl}(\sin\phi + \mu_s \cos\phi) - N_{sr}(\sin\beta + \mu_s \cos\beta))}{m_{sl}} \quad (20)$$

$$\dot{\omega}_{sl} = \frac{(N_{sr} R_{sl}(\cos\beta - \mu_s \sin\beta) - R_{sd} N_{sd} \mu_{sd} + T_3)}{(J_{sl} + J_{sd} + J_5)} \quad (21)$$

$$\ddot{y}_{sd} = (F_{spring} - N_{sl}(\cos\phi - \mu_{sl} \sin\phi) / \eta_p) / m_{sd} \quad (22)$$

Pha 5: Các biến trạng thái: $\omega_g = \omega_{sr} = \omega_{sl} = \omega_{sd}$, $x_{sl}, \dot{x}_{sd} = 0, \dot{y}_{sl} = 0$, phương trình mô tả như sau:

$$\ddot{x}_{sl} = (F_f - N_{sl} \mu_{sl} - N_{sr} \mu_s) / m_{sl} \quad (23)$$

$$\dot{\omega}_{sl} = T_3 / (J_1 + J_{sr} + J_{sl} + J_{sd} + J_5) \quad (24)$$

Pha 6: Các biến trạng thái: $\omega_g, \omega_{sr} = \omega_{sl} = \omega_{sd}$, $x_{sl}, \dot{x}_{sd} = 0, \dot{y}_{sl} = 0$, phương trình mô tả như sau:

$$\dot{\omega}_g = (N_g R_{sl}(\cos\beta - \mu_g \sin\beta) - N_c R_c \mu_c + T_1) / J_1 \quad (25)$$

$$\dot{\omega}_{sl} = \frac{(N_g R_{sl}(\mu_g \sin\beta - \cos\beta) + N_c R_c \mu_c + T_3)}{(J_{sr} + J_{sl} + J_{sd} + J_5)} \quad (26)$$

$$\ddot{x}_{sl} = \frac{(F_f - N_g(\sin\beta + \mu_g \cos\beta) - N_{sr}(\mu_s \cos\gamma - \sin\gamma) - N_{sl} \mu_{sl})}{m_{sl}} \quad (27)$$

Trong đó: N_g - lực tiếp xúc pháp tuyến giữa các vát răng của vành răng bánh răng và ống gài; γ - góc vát thứ hai của răng ống gài; μ_g - hệ số ma sát của góc vát thứ 2 của răng ống gài.

Pha 7: Các biến trạng thái: $\omega_g, \omega_{sr} = \omega_{sl} = \omega_{sd}$, $x_{sl}, \dot{x}_{sr} = 0, \dot{x}_{sd} = 0, \dot{y}_{sd} = 0$, phương trình mô tả như sau:

$$J_1 \dot{\omega}_g = \frac{R_{sl} F_f (1 - \mu_g \tan\beta)}{(\tan\beta + \mu_g)} - \frac{R_{sl} (N_{sr} \mu_s + N_{sl} \mu_{sl})(1 - \mu_g \tan\beta)}{(\tan\beta + \mu_g)} - N_c R_c \mu_c + T_1 \quad (28)$$

$$m_{sl} \ddot{x}_{sl} = F_f - N_{sl} \mu_{sl} - N_{sr} \mu_s - N_g (\sin\beta + \mu_g \cos\beta) \quad (29)$$

$$\dot{\omega}_{sl} = \frac{(N_g R_{sl}(\mu_g \sin\beta - \cos\beta) + N_c R_c \mu_c + T_3)}{(J_{sr} + J_{sl} + J_{sd} + J_5)} \quad (30)$$

Pha 8: Các biến trạng thái: $\omega_g = \omega_{sr} = \omega_{sl} = \omega_{sd}$, $x_{sl}, \dot{x}_{sr} = 0, \dot{x}_{sd} = 0, \dot{y}_{sd} = 0$. Các phương mô tả như sau:

$$\ddot{x}_{sl} = (F_f - N_g(\mu_g \cos\gamma - \sin\gamma) - N_{sr} \mu_s - N_{sl} \mu_{sl}) / m_{sl} \quad (31)$$

$$\dot{\omega}_{sl} = T_3 / (J_1 + J_{sr} + J_{sl} + J_{sd} + J_5)$$

2.2. Mô hình cụm động cơ điện và dẫn động

Mô hình động lực học đơn giản hóa của động cơ điện có thể được mô tả như sau:

$$T_{dc} = \tau_{dc} \cdot i_a = J_{dc} \ddot{\theta}_r + k_{dc} \dot{\theta}_r + \frac{F_f}{i_t \eta_t} \quad (32)$$

Trong đó: T_{dc} - mô men điện từ của động cơ điện; τ_{dc} - hằng số mô men của động cơ điện; i_a - cường độ dòng điện phần ứng; ω_r - vận tốc góc của rô to; J và B - tương ứng là mô men quán tính và hệ số ma sát nhớt của động cơ và cơ cấu chấp hành gài số; F_f - lực gài; i_t - tỷ số truyền lực của hệ dẫn động, rad/m; η_t - hiệu suất truyền lực. Lực gài F_f được xác định như sau:

$$F_f = k_t \left(\frac{\dot{\theta}_r}{i_t} - \dot{x}_{sl} \right) + c_t \left(\frac{\theta_r}{i_t} - x_{sl} \right) \quad (33)$$

Trong đó: k_t, c_t - tương ứng là hệ số ma sát cản nhớt và độ cứng của hệ dẫn động từ động cơ gài đến bộ đồng tốc; x_{sl} - dịch chuyển dọc trục của ống gài

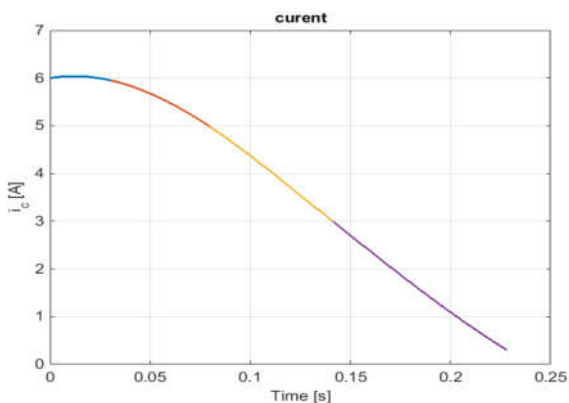
3. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN CẤU GÀI SỐ

Quá trình gài số trên hệ thống truyền lực AMT cũng giống như hệ thống truyền lực cơ khí, bao gồm 3 giai đoạn: nhả số, chọn số và gài số. Trên hệ thống truyền lực 3 giai đoạn này được thực hiện bởi động cơ điều khiển, thông thường gồm động cơ chọn số và động cơ gài số. Để hoàn thành toàn bộ quá trình gài số, hai động cơ này được điều khiển chính xác ở từng gian đoạn. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả sử dụng bộ điều khiển PD điều khiển vị trí góc quay của động cơ gài số để đảm bảo gài số hoàn toàn. Giá trị đặt điều khiển góc quay của động cơ là 12 vòng, tương ứng $\theta_r^d = 75,36$ rad. Tín hiệu điều khiển là cường độ dòng điện phần ứng i_a . Luật điều khiển PD dòng điện phần ứng đáp theo yêu cầu trên như sau:

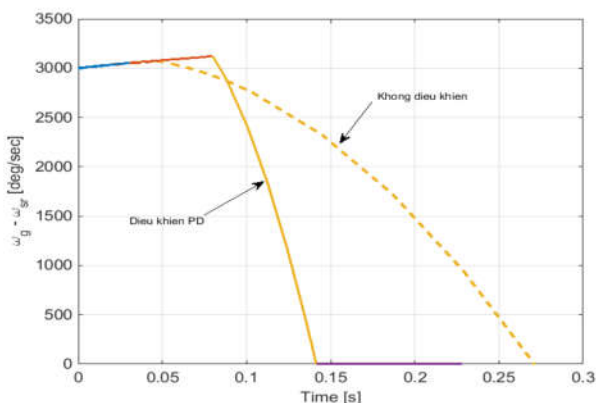
$$i_a = u = P(\theta_r^d - \theta_r) + D\dot{\theta}_r \quad (34)$$

Trong đó: θ_r - góc quay của mô tơ, được lấy từ mô hình đồng tốc và bộ phận chấp hành; P, D - các thông số của bộ điều khiển, được lựa chọn để đảm bảo thời gian gài số không quá dài và lực gài không quá lớn để tránh xảy ra va đập. Trong mô phỏng này, các tác giả chọn $P = 0,5$; $D = 0,001$, khi đó thời gian gài số khoảng 0,228s. Trên hình 2 thể hiện sự thay đổi dòng điện phần ứng của động cơ i_a theo thời gian gài số. Hằng số mô men của động cơ gài

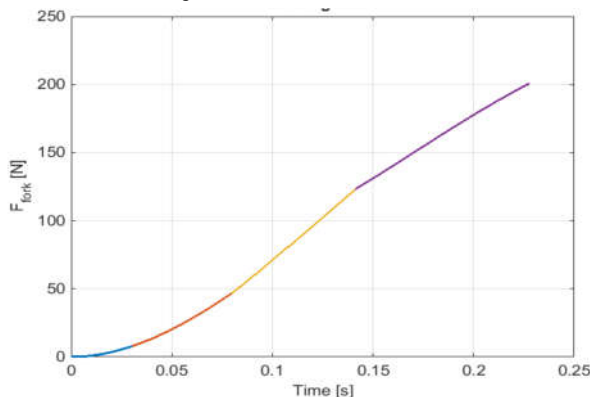
$\tau_{dc} = 0,126\text{Nm/A}$. Ở thời gian khởi đầu dòng điện tăng để giảm thời gian đồng tốc (pha 3). Ở giai đoạn cuối quá trình gài, cường độ dòng điện giảm đảm bảo kết thúc gài êm dịu. Vận tốc góc trượt giữa vành răng bánh răng và vành đồng tốc thể hiện trên hình 3. Khi có điều khiển, thời gian đồng tốc (pha 3) giảm còn khoảng 0,06s. Tuy nhiên thời gian của pha 2 và pha 4 tăng lên. Đây là 2 pha có sự va chạm giữa răng ống gài và vành đồng tốc và giữa răng ống gài và vành răng bánh răng. Thời gian tăng lên giúp giảm xung lực va chạm.



Hình 2. Dòng điện phản ứng điều khiển



Hình 3. Vận tốc trượt giữa vành răng bánh răng và vành đồng tốc khi có điều khiển (nét liền) và không điều khiển (nét đứt)

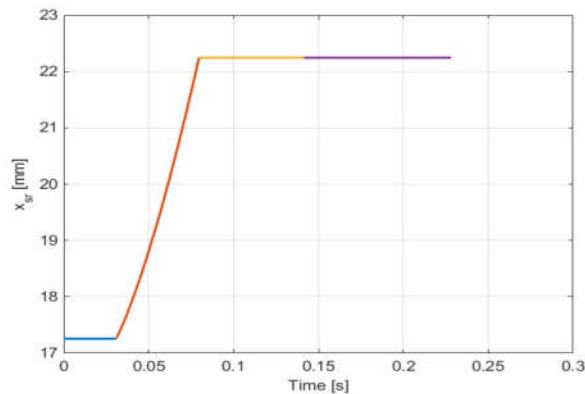


Hình 4. Lực điều khiển tác dụng lên bộ đồng tốc theo phương dọc trục

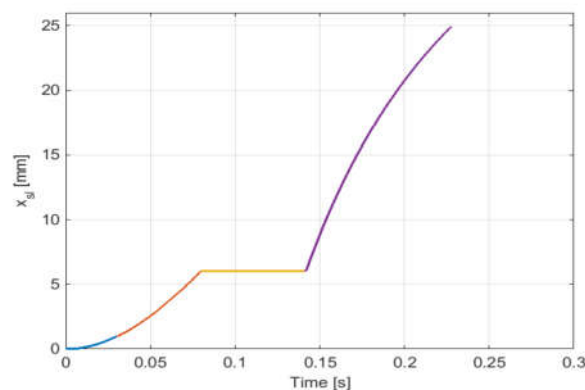
Lực điều khiển tác dụng lên bộ đồng tốc thể hiện trên hình 4. Ở pha 3, lực tăng gần như tuyến tính với cường độ

tăng lực lớn nhất trong các pha, khoảng 1242N/s, cường độ tăng lực trung bình khoảng 877N/s.

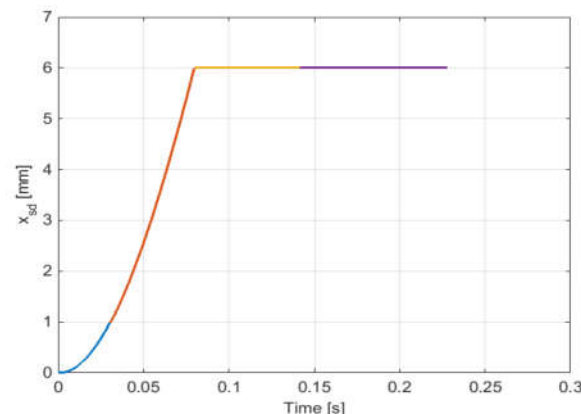
Dịch chuyển dọc trục của vành đồng tốc (x_{sr}), ống gài (x_{si}) và cụm khóa hãm (x_{sd}) thể hiện tương ứng trên hình 5, 6 và 7. Dịch chuyển lớn nhất của vành đồng tốc khoảng 5mm (từ vị trí 17,25mm đến 22,25mm), cụm khóa hãm dịch chuyển khoảng 6mm. Ống gài dịch chuyển khoảng 25mm để đảm bảo ăn khớp hết răng của vành răng bánh răng.



Hình 5. Dịch chuyển dọc trục của vành đồng tốc

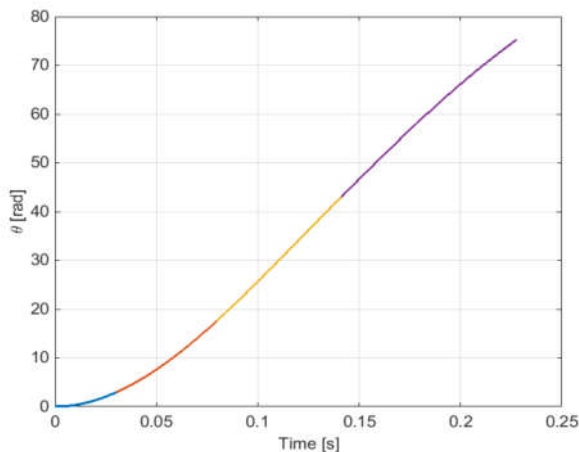


Hình 6. Dịch chuyển dọc trục của ống gài



Hình 7. Dịch chuyển dọc trục của cụm khóa hãm

Góc quay của trục động cơ thể hiện trên hình 8, góc quay lớn nhất chính là giá trị đặt của bộ điều khiển, $\theta_r^d = 75,36\text{ rad}$.



Hình 8. Góc quay của trục động cơ điều khiển gài số

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã xây dựng mô hình cơ cấu gài số với 8 pha tương ứng với 8 mô hình con. Trên mô hình xây dựng thực hiện mô phỏng thể hiện các đại lượng động lực học cơ cấu gài số quá trình gài số như tốc độ góc của bánh răng, vành đồng tốc, khóa gài và ống khóa gài. Mô phỏng dịch chuyển dọc trục của ống gài, khóa gài và vành đồng tốc. Các kết quả mô phỏng cho ta thấy đáp ứng động lực học của cơ cấu gài số và thời gian gài số với lực gài thay đổi. Nhóm tác giả cũng đã khảo sát ảnh hưởng của cường độ tăng lực gài đến thời gian gài số. Kết quả khảo sát cho thấy, nếu tăng cường độ lực gài thì thời gian gài giảm. Sự giảm này theo đường phi tuyến, ở giai đoạn đầu sự giảm này là đáng kể và bão hòa khi cường độ tăng lực gài lớn. Kết quả khảo sát cho phép lựa chọn cường độ tăng lực gài khi thiết kế bộ điều khiển gài số.

Bộ điều khiển PD được thiết kế để điều khiển gài số với các thông số bộ điều khiển được lựa chọn để đảm bảo thời gian gài số. Kết quả mô phỏng với trường hợp cụ thể cho ta thấy được sự đáp ứng của hệ thống và sự thay đổi trạng thái của cơ cấu điều khiển gài số. Kết quả mô phỏng thể hiện sự thay đổi cường độ dòng điện điều khiển động cơ gài số và lực gài trong quá trình gài.

Trong nghiên cứu này chỉ dừng lại nghiên cứu điều khiển gài số, việc điều khiển chọn số hoàn toàn độc lập và có thể ứng dụng phương pháp điều khiển vị trí theo bộ điều PD hoặc các bộ điều khiển khác. Điều khiển gài số và điều khiển chọn số là hai bộ điều khiển theo tuần tự, không đồng thời. Do đó nghiên cứu bộ điều khiển gài số là độc lập so với bộ điều khiển chọn số.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. A. P. Bedmar, 2013. *Synchronization processes and synchronizer mechanisms in manual transmissions: Modelling and simulation of synchronization processes*. Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.
- [2]. C.Y. Tseng, C.H. Yu, 2015. *Advanced shifting control of synchronizer mechanisms for clutchless automatic manual transmission in an electric vehicle*.

Mech. Mach. Theory, vol. 84, pp. 37–56, doi: 10.1016/j.mechmachtheory.2014.10.007.

[3]. H. V. Alizadeh, B. Boulet, 2014. *Robust control of synchromesh friction in an electric vehicle's clutchless automated manual transmission*. in 2014 IEEE Conference on Control Applications (CCA), Juan Les Antibes, France, pp. 611–616. doi: 10.1109/CCA.2014.6981407.

[4]. P. D. Walker, N. Zhang, 2011. *Engagement and control of synchroniser mechanisms in dual clutch transmissions*. Mech. Syst. Signal Process.

[5]. N. R. Junnarkar, 2017. *Development of Synchronizer Operation for integration in AMT Control Strategy*. IOSR J. Mech. Civ. Eng., vol. 17, no. 10, pp. 40–45, doi: 10.9790/1684-17010054045.

[6]. B. Gao, X. Lu, J. Li, H. Chen, 2011. *Model Predictive Control of Gear Shift Process in AMT Trucks*. in Volume 8: 11th International Power Transmission and Gearing Conference; 13th International Conference on Advanced Vehicle and Tire Technologies, Washington, DC, USA, pp. 691–697. doi: 10.1115/DETC2011-47369.

[7]. J. Li, X. Feng, M. Jiang, Y. Zhang, L. Wan, 2017. *Modelling and simulation of synchronization and engagement for self-energizing synchronizer with multibody dynamics*. Adv. Mech. Eng., vol. 9, no. 3, p. 168781401769141, doi: 10.1177/1687814017691410.

[8]. M. Z. Piracha, A. Grauers, E. Barrientos, H. Budacs, J. Hellsing, 2019. *Model Based Control of Synchronizers for Reducing Impacts during Sleeve to Gear Engagement*. SAE Technical Papers, pp. 2019-01–1303. doi: 10.4271/2019-01-1303.

[9]. H. Yan, Z. Xu, J. Yuan, M. Liu, W. Ge, 2019. *Friction Coefficient Compensation Control in Synchronizer Synchronization Process for Transmission*. Appl. Sci., vol. 9, no. 15, p. 3096, doi: 10.3390/app9153096.

AUTHORS INFORMATION

Ta Thi Thanh Huyen, Tran Van Nhu

University of Transport and communications